(B−1)　水中におかれたゲートの振動解析

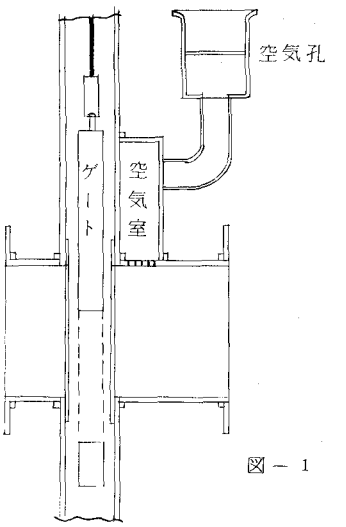
（周波数解析について）

東京大学工学部　　嶋　　祐之
東京大学大学院　　萩原国安

1. はしがき

我々は以前にパイプの中に設置されたリングボローワーゲートの振動について実験を行い，振動の振巾，動的Down Pull等についてレポートとして表わした。[1]

今回はその時に扱かわなかった周波数に対する解析をランダムな扱いにより解析を行ってみた。実験装置の内ゲートリーフの部分が図−1に示されている。流れによってゲートに生ずる振動変位は図−3, 4, 5, 6, 7, 8に示される様にかなりランダムな振動をしている。今回は，後述のWave Analyzer（波形解析機）を使用して，上記の振動記録より自己相関を求め，又パワースペクトルについては，この自己相関の値より本学計算センターの電子計算機OKITAC 5090 により求めたものである。



図−1

2. 自己相関関数，パワースペクトル，相関器について

パワースペクトルと自己相関関数の関係については，ウィーナー，キンチン(Wiener Khintchin)の関係式として知られており，それらはフーリエ変換の対として示されている。いまランダムな時間関数 x(f) があって，例えば

$$M\frac{d^2}{dt^2}x(t)+R\frac{d}{dt}x(t)+kx(t)\pm F=P(t),\text{又は}\ M\frac{d^2}{dt^2}x(t)+R\frac{d}{dt}x(t)+kx(t)=P(t)\mp F(t) \quad (1)'$$

の x(t), P(t) のような関数であるとする。その t=−T より t=T までをとって $x_T(t)$ とおくと，自己相関関数 $\psi_T(\tau)$ は

$$\psi_T(\tau)=\frac{1}{2T}\int_{-T}^{T}x(t)x(t+\tau)\,dt \qquad (T\to\infty) \quad (1)$$

で定義される。パワースペクトル w(f) は次のようになる。

$$w(f)=4\int_0^\infty \psi(\tau)\cos w\tau\,d\tau, \qquad w=2\pi f \quad (2)$$

$$\psi(\tau)=\int_0^\infty w(f)\cos w\tau\,df \quad (3)$$

上の(2)，(3)式がWiener-Khintchineの公式といわれるものである。尚(1)，(3)式で $\tau=0$ の場合には(4)式のように表わせる。

$$\psi(o)=\frac{1}{2T}\int_{-T}^{T}x(f)\cdot x(f)dt=\int_0^\infty w(f)\,df=\rho \quad (4)$$

これは，2乗平均又は平均パワーを表わす。又(1)において x(f)が周期函数であるときには $\psi(\tau)$も同一の周期をもつ周期関数になる事が知られている。

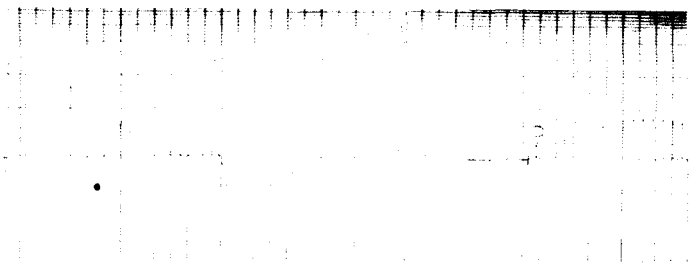


図 － 2

さて我々の振動記録はオッシロペーパーに記録したものであるから，それらの波を相関器に録音しなければならない。そのために東芝製の読み取り装置を用いた。以下に相関器と読み取り装置の性能等について概略を紹介する。

相関器はアナログ形の相関器[3]で東芝製の波形処理装置TA-3868Aの中にその一部として繰込まれている。それは積分器電子管式，磁気テープ機構部よりなっている。磁気テープ機構部は読み取り装置よりの波形をエンドレス録音テープに2つのチャンネルに同時録音し，再生を開始する場所を1ステップずつ順繰りにずらせる事が出来るようになっている。

記録時間は約45秒（テープスピード95 mm/sec)再生時にはテープスピードは380mm/secで行う。ずらし時間は，0.05secで100ステップのずらしが可能である。磁気テープよりの再生電圧を掛算器，積分器を通して，(1)式の積分の部分を求め，その値をVaricorder（商品名）によってグラフとして求められる。その記録紙の一例を図－2に示しておく。その出力は掛算器で50V×50V＝50Vとして出てくるので，実際の50分の1となっている。尚積分時間Tは，45秒間録音したのを380 mm/secで再生するために，11.25秒となっている。従って自己相関関数 $\psi(\tau)$，パワースペクトル共に計算器よりの出力に50/11.25を掛ける必要がある。読み取り装置は2つの読み取りヘッドがあり，相互相関の計算にも使用出来る様になっている。読み取り速度は，1 mm/sec，2.5mm/sec，5mm/sec 10mm/secに変えられる。又出力電位も full scaleを100V，50V，20V，10V と変えられるようになっている。

3. データー及び相関関数について

データーとしてはgate 開度1, 2, 3 ～ 12，orifice開度1 ～ 5 の組合せがあるが，gate 開度の小さい所1, 2, 3, 4 等は振動が非常に小さいので，読み取り装置の感度等を考慮して取り扱わなかった。こゝで解析をしたのは表－1の通りである。

gate ratio	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
移動距離	0㎜	5	12	22	32	45	58	73	88	104	120

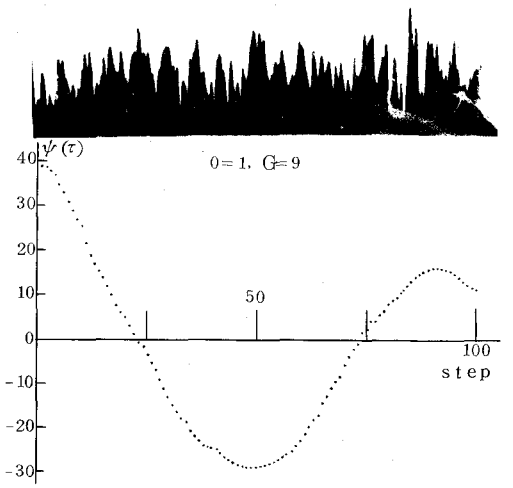
表 － 2

尚gate ratioは全開を12㎝として表－2のようになっている。又orifice openning については，それぞれ直径0, 1.1, 1.5 2.4, 3.2㎝の空気孔がorifice openning 1, 2, 3, 4, 5 に相当する。

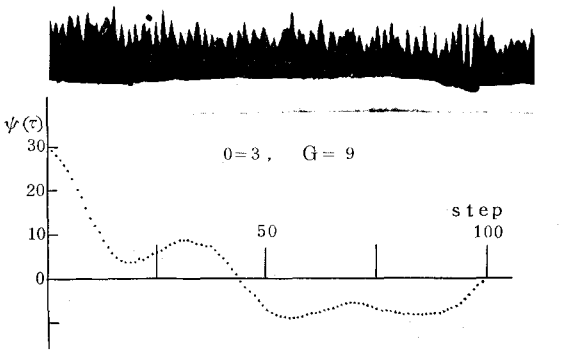
表 － 1

orifice opening	ゲート開度
1	4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11
2	7, 8, 9, 10, 11
3	8, 9, 10, 11
4	8, 9, 10, 11
5	9, 10, 11

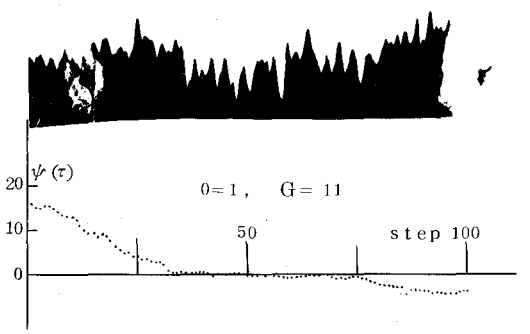
以下に代表的な例を示すことにする。読み込み速度は，2.5 mm/sec，1mm/sec，5mm/secについて，試みたが，我々の持っている振動記録に対して5mm/sec 以上での読み取りではより忠実な結果



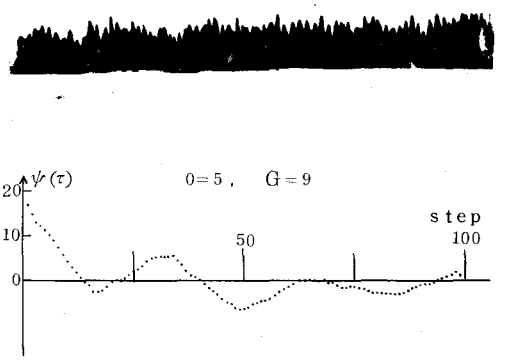
図－3



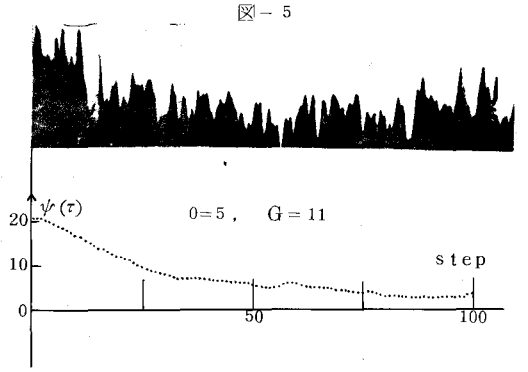
図－4



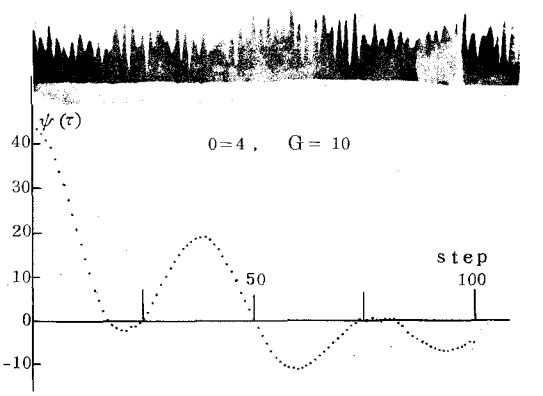
図－5



図－6



図－7



図－8

を期待出来ないので（変動の大きい所では山をとびこしてしまう）こゝでは，2.5mm/secのものについて示す。尚振動記録は，30cm/secで記録してあるから，自己相関を計算する時の実際現象でのずらし時間（1ステップ）は，0.05×0.25/30=0.000416secである。

以上の図でのGはgate ratio．Oはorifice openning を示す。

これらの自己相関の値は，自己相関器よりの出力として，記録装置（varicorder）に表われたVを示している。従って，実際値はこれに 50/11.25 を掛ける必要があり，更に実際の現象での値を求めるためには，換算係数を掛ける必要がある。

(イ) orifice openning の影響について

図－3, 4, 6を比べてみると同一のgate ratio 9で空気孔により，空気の流入のある時とない時でかなり異っている事がわかる。即ちorifice openning 1に比べてorifice openning 3, 5では高周期の波が入っているのではないかと考えられる。

(ロ) gate ratioについて

gate ratio 11に相当する図－5，7と他のを比べてみると，他の場合ほど明確な波が自己相関に表われていない。振動記録をみてもわかるように振動の中立軸と思われるものが変動している。これはもっと長周期の変動があるとも考えられ，そのためには，この相関器の録音テープの長さ，読み取り装置の性能でgate ratio 11に対して不十分と考えられる。

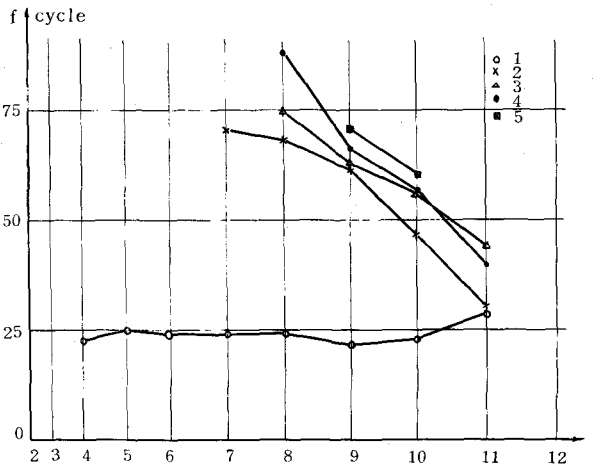


図 － 9

4. 自己相関関数について

3.で示したような自己相関の結果よりその卓越周期を見い出す事を試みた。即ち$\tau = 0$の時を最大として，次に表われる最小点までを卓越周期の半波長とし又$\tau = 0$より次の最大点までを卓越周期の一波長と考えて，その卓越周波数を求めた。各gate ratio及びorifice openningについて整理して図示すれば図－9のごとくになる。前記3.の(イ)で述べた如く，orifice openning 1ではgate ratioの全体にわたって，ほぼ23～25cycleの値を示している。これは前記レポートで書いた如く，この振動系の固有振動数（23.7 cycle）がこれに近い値であったことを考えに入れれば，特に振動外力P(t)の内この振動数に近いものが顕著にx(t)へ表われていることも考えられる。

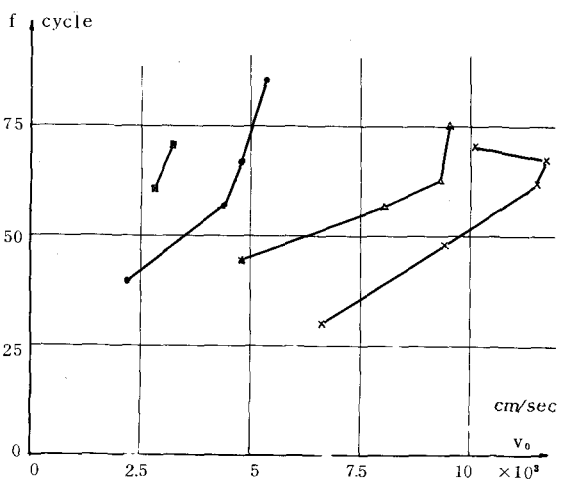


図 － 10

又orifice openning が2, 3, 4, 5の時，即ち空気孔より空気が流入する時にはより高い振動が表

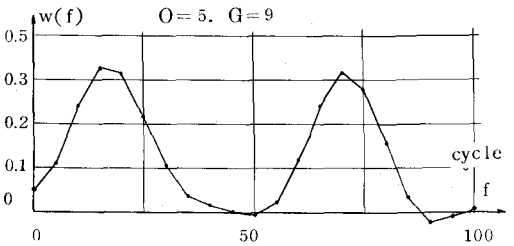
orifice openning	fd_0/v_0
2	5.8×10^{-3}
3	11.8
4	36.9
5	69.0

表－3

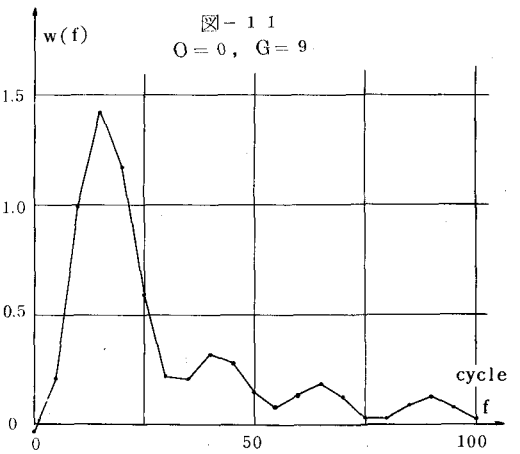
われている。そしてそれはgate ratioが増加するに従って振動数が減少して来ている。空気孔を開いた場合orifice openning 2, 3, 4, 5について空気流入速度V_0と振動数fとの関係について，空気孔開度の直径d_0をとって無次数fd_0/v_0を計算してみると各orifice openning でほゞ一定値を示している。それらの値の平均は表－3のようになっている。

5. パワースペクトル

3.で示したような自己相関の値を使ってパワースペクトルを求めてみた。この値は，東大計算センターのOKITA 5090によって行い，プログラムはALGOLによって(2)式の値を求めるものである。そのプログラムは，こゝでは省略するが自己相関関数の値をグラフにより100ステップ読み取り，それらについてfを100 cycle までかえって，パワースペクトルを求めた。現在までに計算出来ている2, 3のものについて示すと以下の如くなる。

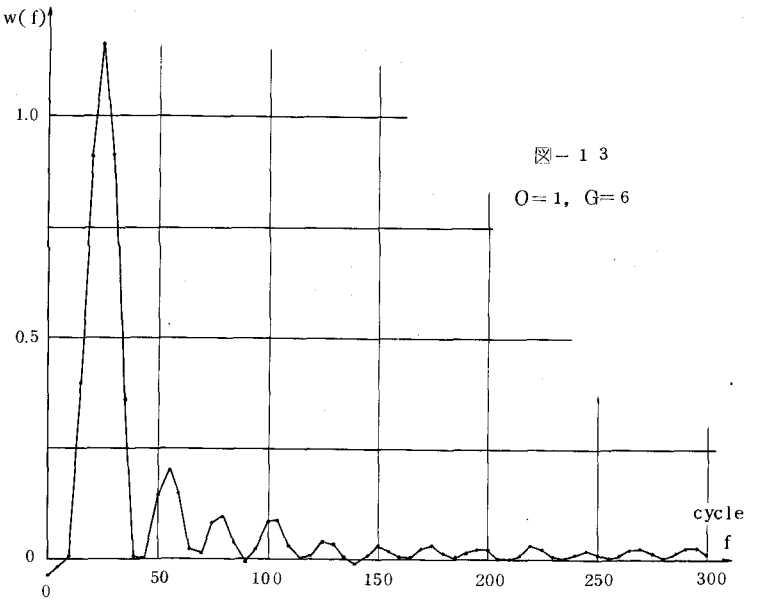


図－12



図－11
O＝0，G＝9

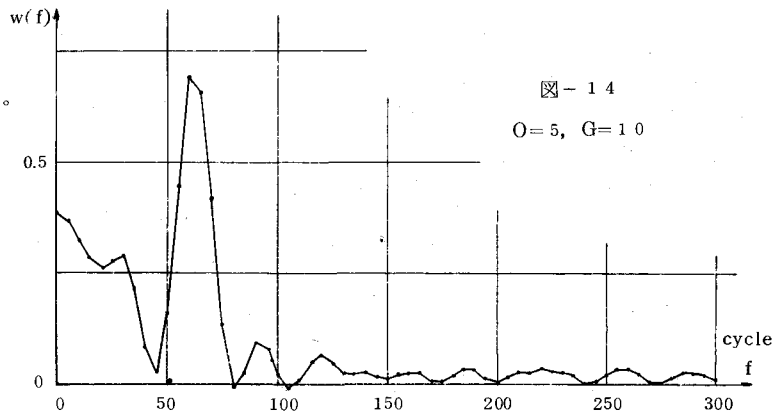
図－11，図－12の両図を見ると，図－11の方には，大きな山が一つでそれがf＝20 cycleの辺にあるが，図－12の方では，二つの大きな山が出ていて，一つは，f＝20 cycleもう一つはf＝70cycleの所で表われている。(4)によって求めた卓越周波数はcrifice 1 以外の場合についてはこの高い方のものに相当することがわかる。しかしパワースペクトルによれば，固有振動に近い所の振動もかなり含まれていることがわか



図－13
O＝1，G＝6

る。尚図−13，図−14はもっと高い周波数（300 cycle）の所まで計算した結果である。

両図を見てもわかるごとく100 cycle以上での卓越周波数は，余り多くはなく，ほぼ25 cycleくらいの間隔で山が表われている。これは固有振動数の高調波が表われて来ていると考えられる。



図−14

O=5，G=10

このレポートを書く段階では全部のパワースペクトルを求めていないのでこれ以上の事は言えないが，講演時には，更に追加する予定です。

最後に，これらの計算をまとめるに当り，東大水理研究室の椎貝博美氏の御指導を受けたことと，自己相関を計算する時に波形処理室の野田澄子さんの御世話になったことについて，両氏に感謝致します。

参考文献

(1) 土木学会年次学術講演会第17回「高圧ゲートの振動特性に関する研究」　嶋　祐之

I.A.H.R. Congress. London1963　Masashi Homma, Sukeyuki Shima

'Model Experiment on dynamic behavior of Ring Follower gate.'

土木学会年次学術講演会第18回「リングホローゲートの振動特性に関する実験」

嶋　祐之，　荻原国宏

(2)「技術者の数学　1」共立出版　P.160

'Random Vibration' Volume 2　The M.I T Dress　p.8 ～ 10